

# 資源追加削減法における収束性の改善

## Improvement of the Convergence in the DORAR Method

池田 大樹 (同志社大院) 三木 光範 (同志社大工) 廣安 知之 (同志社大工)

Taiju IKEDA

Mitsunori MIKI

Tomoyuki HIROYASU

Knowledge Engineering Dept, Doshisha University, Kyoto, Japan.

Key Words: Optimum Design, Distributed Algorithm, Parallel Optimization, DORAR method

### 1 はじめに

離散構造物の最適設計に対して提案された資源追加削減法<sup>1)</sup>(以下 DORAR 法と略記する)は、資源最小化問題に定式化できる非線形最適化問題に対して、任意の初期値から収束するロバスト性を有している。しかし、設計点を制約条件に近づける処理を反復することで最適化を達成するというアルゴリズムの原理上、収束までの繰り返し数を要するという問題点があった。本論文では、収束性の向上のために、離散的な各要素が自律分散的に振る舞うことが可能な収束の加速のためのアルゴリズムを提案する。また、各要素の感度情報の交換による加速についても言及する。

### 2 資源追加削減法(DORAR 法)の概略<sup>1)</sup>

ここでは離散的な要素を有するシステムの最適化問題を考える。目的は、システム全体として必要な資源の最小化であり、それは各要素の資源の和で表される。システムには要求される機能が制約条件として課せられている。それらは複数の全体制約条件と複数の局所制約条件である。

DORAR 法のアルゴリズムは、以下の手順で示される。

- 1) 各要素ごとに局所制約条件に関する資源余裕を評価。
- 2) 各要素ごとに全体制約条件に関する資源余裕を評価。責任係数(要素数の逆数)を乗じ、改めて資源余裕とする。
- 3) 1),2)の資源余裕の最小値を各要素の臨界資源余裕とし、これを削減する。この処理を資源削減処理と呼ぶ。
- 4) 各要素に一定の微少な資源( $\Delta R$ )を追加する。この処理を資源追加処理と呼ぶ。
- 5) 手順 1)から 4)を繰り返すことにより最適解を得る。

### 3 要素の自律加速アルゴリズムの提案

収束性の向上を目的として、要素が自己の資源変化を加速するためのアルゴリズムを提案する。ここで提案する加速アルゴリズムは、離散的な要素が自律分散的に挙動可能なものである。そして、各要素が加速を行った結果、システム全体として最適な状態への収束性の向上が期待できる。

各要素の加速アルゴリズムは、以下の手順で示される。

- 1) 各要素は、自己の資源変化を記憶する。
  - 2) 資源変化が緩慢と判断した場合、収束を加速する。
  - 3) 2)の効果を確認する。加速の効果が確認できれば、さらに加速量を増加させる。加速の効果がなければ、加速量を低減させる。
- 各要素は自己の加速効果を確認し、その結果を次の加速に

生かす。各要素がどの程度収束を加速させるかは、その時点の各要素の状態を考慮して適応的に決定される。ここで提案する加速処理は、要素ごとに分散的に実施可能である。よって、並列処理に適したアルゴリズムである。

### 4 感度情報の交換による加速

各要素間で全体制約に関する感度情報の交換を行うことで、システムの状態に対し最適な責任係数を与えることを目標とするアルゴリズムの提案が三木<sup>2)</sup>により行われている。この手法は、利用する情報量を増加させるため、収束の加速が期待できる。交換する情報は全体制約に関する感度のみであり、各要素の局所制約に関する感度は交換しないため、依然として、分散最適化のクラスであると考えられる。基本的な考えは、資源削減処理において制約条件に対する感度の高い要素、すなわち、制約条件に対する影響度の大きな要素ほど削減される資源量は小さくし、また、感度の低い要素ほど削減される資源量を大きくするというものである。具体的には、各要素は全要素の感度情報を用い、以下のように自己の責任係数を決定する。

When the sensitivity  $S_{ij}$  is

$$S_{ij} = \frac{\partial G_j}{\partial R_i} \quad (1)$$

The case that the design point is inside the feasible region

$$a_{ij} = \frac{S_{ij}^{-1}}{\sum_{i=1}^N \min(0, S_{ij}^{-1})} \quad (S_{ij} \leq 0) \quad (2)$$

$$= 1 \quad (S_{ij} > 0) \quad (3)$$

The case that the design point is outside the feasible region

$$a_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^N \min(0, S_{ij})} \quad (S_{ij} \leq 0) \quad (4)$$

$$= 1 \quad (S_{ij} > 0) \quad (5)$$

しかしながら、上のような責任係数の適応的変化プロセスを組み込むと収束は早くなるが、初期解に依存して局所解に陥る可能性が大きくなる<sup>2)</sup>。これは、最適化の過程で消滅すべき要素が、初期解の段階で大きな資源を有している場合、この要素が過大に評価された結果であると考えられる。そこで、責任係数の適応的変化を、計算がある程度進行してから行うことは、初期解依存をなくすために有効であると考えられる。すなわち、最適化の初期段階では感度情報を用いず、ある程度収束が進行した後、各要素の感度情報

を交換し、各要素の重要度を決定する。この手法により、初期解依存性をなくし、収束性の向上が期待できる。

## 5 対象問題

最適化の対象は離散的要素から成るトラス構造物で、複数の制約条件下で、最小体積のトラス構造物を設計することとした。局所制約条件として各部材の引張応力、圧縮座屈を考え、全体制約条件として一つの節点変位を考える。設計変数である資源は、各部材の体積である。本論文では、提案したアルゴリズムの有効性の検証のために、Fig. 1に示す8節点15部材トラス構造物の最小体積設計問題を考える。

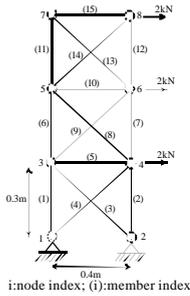


Fig. 1 15-member truss structure

## 6 実験結果

3章、4章で提案した加速アルゴリズムの有効性を検証するため、トラス構造物最適化問題を解いた。

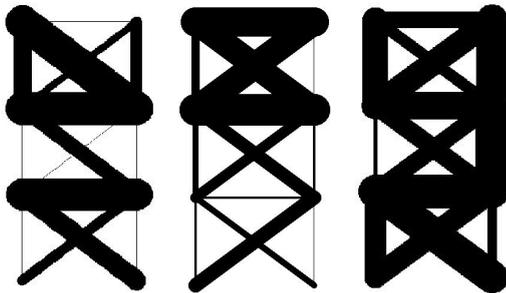


Fig. 2 Initial distributions of the sectional areas

まず、3章で提案した加速アルゴリズムの有効性を検証する。従来のDORAR法、および提案した加速アルゴリズムを適用したDORAR法でFig. 2に示す3種類の初期値から最適化を行ったときの200ステップまでの資源履歴をFig. 3に示す。加速アルゴリズムを適用することで、大幅な収束性の向上が実現できたことが確認できる。

次に、4章で提案した感度情報の交換による加速の効果を検証する。Fig. 2に示す初期値2および3に対し、初期から感度情報を交換(Method-1とよぶ)、計算の繰返しがある程度進行した40ステップ以降に感度情報の交換(Method-2とよぶ)を行い、最適化を行った。最適解およびMethod-1,2による40ステップ後の収束解をFig. 4に、200ステップまでの資源履歴をFig. 5に示す。Fig. 5より、初期値2および3ともに収束性が向上していることが確認できる。Fig. 4より、40ステップ後の2種類の収束解は、

異なった形で負荷荷重を支持していることがわかる。この後、Method-2では感度情報の交換が行われ、大幅に収束性が向上したことが確認できる。

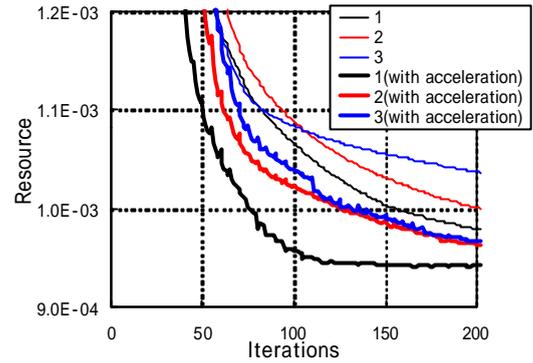
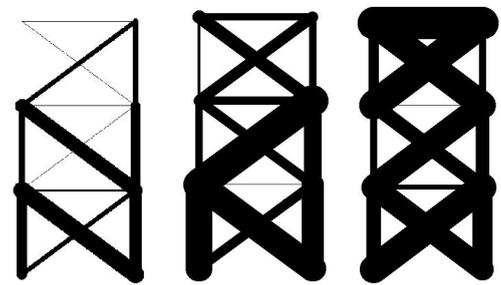


Fig. 3 Effect of acceleration



Final config. with sensitivity without sensitivity  
(Method-1) (Method-2)

Fig. 4 Optimum solution and intermediate results (after 40 steps for initial config.2)

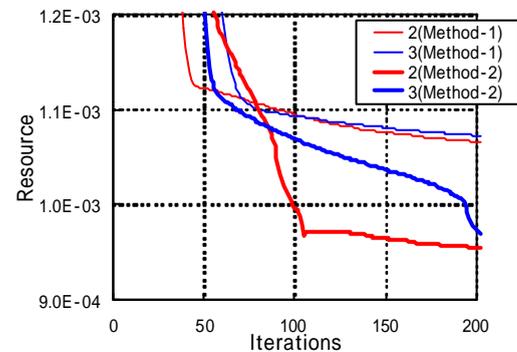


Fig. 5 Effect of the use of sensitivity

## 7 結論

得られた結論は、以下の通りである。

- 1) 離散的な各要素が自律分散的に振る舞うことが可能な加速アルゴリズムにより、大幅な収束性の向上が実現できた。
- 2) 感度情報を用いた責任係数の適応的变化は、計算の繰返しがある程度進行してから行うのがよい。これは、責任係数の初期解依存性をなくすためである。

## 8 参考文献

- 1) 三木光範, "並列分散最適化のためのアルゴリズム",

日本機械学会 第2回最適化シンポジウム, 1996

- 2) M.Miki , M.Furuichi , Y.Watanabe , "Smart Distributed Minimization of the Volume of Discrete Structure" , AIAA-96-1584-CP , 1996